

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局



(43) 国際公開日
2004 年 11 月 4 日 (04.11.2004)

PCT

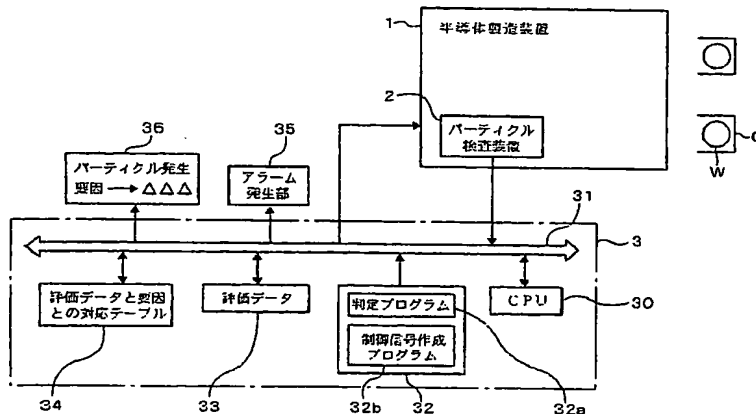
(10) 国際公開番号
WO 2004/095566 A1

- (51) 国際特許分類⁷: H01L 21/66, G01N 21/956 (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 東京エレクトロン株式会社 (TOKYO ELECTRON LIMITED) [JP/JP]; 〒1078481 東京都港区赤坂五丁目 3 番 6 号 Tokyo (JP).
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2004/005633
- (22) 国際出願日: 2004 年 4 月 20 日 (20.04.2004)
- (25) 国際出願の言語: 日本語 (72) 発明者; および (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 八掛 保夫 (YAT-SUGAKE, Yasuo) [JP/JP]; 〒1078481 東京都港区赤坂五丁目 3 番 6 号 東京エレクトロン株式会社内 Tokyo (JP). 加藤 寿 (KATO, Hitoshi) [JP/JP]; 〒1078481 東京都港区赤坂五丁目 3 番 6 号 東京エレクトロン株式会社内 Tokyo (JP). 安原 もゆる (YASUHARA, Moyuru)
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願2003-117307 2003 年 4 月 22 日 (22.04.2003) JP

/続葉有/

(54) Title: SEMICONDUCTOR MANUFACTURING SYSTEM

(54) 発明の名称: 半導体製造システム



36...PARTICLE OCCURRENCE FACTOR
35...ALARMING SECTION
34...CORRESPONDENCE TABLE SHOWING CORRESPONDENCE BETWEEN EVALUATION DATA AND FACTOR
33...EVALUATION DATA
32a...JUDGMENT PROGRAM
32b...CONTROL SIGNAL GENERATION PROGRAM
1...SEMICONDUCTOR MANUFACTURING APPARATUS
2...PARTICLE CHECKING INSTRUMENT

(57) Abstract: A system for automatically checking a semiconductor manufacturing apparatus on the basis of the result of checking a substrate such as a semiconductor wafer for a particle. In a preferred embodiment, the surface of a wafer is divided into small regions of about 0.1 to 0.5 mm square so as to check each region for a particle. On the basis of the result of the checking, the presence/absence of a particle in each small region is related to the address of the small region, and the data on the presence/absence is created. The surface of the wafer is also divided into tens to hundreds of large evaluation regions. The number of small regions which are included in each evaluation region and in which a particle or particles are detected is compared with a predetermined reference number. According to the result of the comparison, binary data representing the particle adhesion state is given to each evaluation region. A correspondence table showing the relation between the distribution of binary data previously created on an empirical rule or experimentally and

the particle adhesion factors is prepared. By referencing the correspondence table for the binary data created by the checking, the particle adhesion factor is identified.

(57) 要約: 本発明は、半導体ウエハ等の基板におけるパーティクルの検査結果に基づいて自動で半導体製造装置の診断を行うことができるシステムを提供する。好適な一実施形態において、ウエハの面が 0.1 ~ 0.5 mm 程度の微小領域に分割され、各微小領域におけるパーティクルの有無が検査される。検査結果に基づいて、各微小領域におけるパー

/続葉有/

18/pst

1

明 細 書

半 導 体 製 造 シ ス テ ム

技 術 分 野

本発明は、半導体製造装置により所定の処理がされた半導体ウエハなどの基板に付着したパーティクルを検出するとともに、検出結果に基づいてパーティクルの付着原因を特定する機能を有する半導体製造システムに関する。

背 景 技 術

半導体集積回路を製造する一連の工程に用いられる半導体製造装置としては、成膜装置、エッチング装置、レジストを塗布しかつ現像する塗布現像装置、ウエハを洗浄する洗浄装置などがある。ある1つの半導体製造装置に不具合が生じて望ましくないな処理結果（例えばパーティクルの付着）が生じると、それ以降の処理が無駄になるため、各装置の状態は常に監視しておく必要がある。

半導体製造工程におけるパーティクルの許容レベルは極めて低い。また、半導体製造装置内では、様々な原因、例えば機構部品の劣化、装置内の空調のためのフィルタユニットの劣化、薄膜などの処理生成物の飛散により、パーティクルが容易に生じうる。このため、装置の不具合に起因して生じるパーティクルの監視のため、装置の種類にかかわらずウエハへのパーティクルの付着状況の検査は必ず行われている。

パーティクル検査装置は、ウエハの面に光を照射したときに得られる散乱光の強度がパーティクルサイズと対応していることを利用して、パーティクルの検出を行う。パーティクル検査装置は、ウエハを回転させながら光、例えばレーザ光のスポットをウエハの径方向に移動させることによりウエハの面をスキャンし、ウエハ面内のパーティクルの付着状態を検査する。

以下に、従来の検査方法の一例について説明する。ウエハの面は、一片が0.1 mm～0.5 mmの微小な概ね正方形の領域（より詳しくは扇形の領域）に分割され、各微小領域にはその位置を特定するためのアドレスが割り当てられる。

微小領域ごとの検査結果を表す代表値は各微小領域のアドレスに基づいて二次元配列され、後述のようにしばしば二次元画像データ（図20(b)参照）の如く取り扱われるため、微小領域は「ピクセル」と呼ばれ、また各ピクセルの代表値を各ピクセルのアドレスと関連付けた形式のデータは「ピクセルデータ」と呼ばれる。本明細書において、「ピクセル」および「ピクセルデータ」という語は、一貫して上記の意味で用いられる。

パーティクル検査装置はレーザ光照射装置を有し、このレーザ光照射装置は、複数のピクセルに順次レーザ光を照射してゆく。1つのピクセルに対して、照射位置をずらしながら、直径60 μ mのスポットサイズのレーザ光が複数回例えば10回照射される。1回のレーザ照射により照射される領域は「スポット領域」と呼ばれる。ピクセル内にレーザ光により照射されない領域が生じないように、隣接するスポット領域は、レーザ光スポットサイズの半分の面積の重複部分を有する。これにより、1つのピクセルに対して散乱光の強度データが10個得られる。検査用コンピュータには、散乱光の強度とパーティクルサイズとの関係が格納されている。コンピュータは、10個の散乱光強度データのうちの最大データに基づいてパーティクルサイズを算出し、算出されたパーティクルサイズがそのピクセルを代表するパーティクルサイズとして扱われる。

すべてのピクセルに対して同様にデータをとると、パーティクルサイズごとのパーティクル出現頻度を示すグラフが得られる（図20(a)参照）。ウエハの処理後におけるパーティクル出現頻度と処理前におけるパーティクル出現頻度との差をパーティクルサイズごとにプロットした図20(a)と同様のグラフを作成することにより、当該処理によって付着したパーティクルを把握することができる。また、各ピクセルにはアドレスが付与されているため、各ピクセルを代表するパーティクルサイズに応じて各ピクセルを色分け表示した二次元マップを作成することができる。図20(b)にはそのようなマップが概略的に表示されている。

オペレータは、上述のように整理された検査結果に基づいて半導体製造装置を診断し、半導体製造装置における不具合の有無及びパーティクルの発生要因を推定し、必要に応じて半導体製造装置のメンテナンスを行う。

上述したようにウエハの表面を微小なピクセルに分割すると、12インチサイ

ズのウエハの場合、ピクセル数は数十万個に達する。半導体製造装置に付属するコンピュータのプロセッサの能力は低く、またメモリ容量も少ない。このため、膨大なサイズの検査データをそのまま用いてパーティクルの発生要因を推定する演算処理を半導体製造装置に付属のコンピュータを用いて行うことや、膨大なサイズの検査データを高度な演算能力のある他のコンピュータに転送することは、実用上極めて困難である。このため、実際には、パーティクル検査装置から出力された検査結果に基づいてオペレータが診断を行っている。

しかしながら、パーティクルの付着状態からパーティクルの付着要因を判定するには、熟練したオペレータの能力が不可欠である。熟練したオペレータが不在などの場合には、試行錯誤で原因を追及せざるを得ず、その負担は大きい。半導体製造装置メーカーのサービスマンに対応を依頼する場合でも、サービスマンの移動の手間もあり、また検査結果次第ではサービスマンが補修用機材をメーカーに取り戻ることもしばしばあり、費用および時間的なユーザの負担は大きい。

近年、半導体製造装置内に張り巡らされた各種センサの検出結果をコンピュータで分析して、この分析結果に基づいてプロセスパラメータの変更を行ったり装置のクリーニングを行う、自動運転システムの採用が推進されている。しかし、パーティクル発生の原因究明は上述したように熟練したオペレータに頼らざるを得ないため、パーティクル対策機能を上述の自動運転システムに組み込むことはできないのが現状である。

発 明 の 開 示

本発明は、このような背景の下になされたものであり、その目的は、パーティクルの検査結果に基づいて自動で半導体製造装置の診断を行うことのできる半導体製造システムを提供することにある。

本発明の半導体製造システムは、半導体製造装置と、半導体製造装置により所定の処理が行われた基板に付着しているパーティクルを検出するパーティクル検出部と、パーティクル検出部により検出された検出結果に基づいてパーティクルの付着状態を評価するための評価データを作成する評価データ作成部と、評価データとパーティクルが基板に付着した要因との間に成立する予め求められた対応

関係を示す対応データを記憶する記憶部と、評価データ作成部が作成した評価データと前記記憶部に記憶された対応データとに基づいて、パーティクルが基板に付着した要因を判断する判断部と、を備えたことを特徴としている。

前記評価データは、半導体製造装置により所定の処理が行われる前の検出結果と所定の処理が行われた後の検出結果との比較に基づいて作成されるものであってもよいし、あるいは、処理前の検出結果は考慮せずに処理後の検出結果のみに基づいて作成されるものであってもよい。いずれを選択するかは、前記所定の処理の前の工程の種別等に基づいて決定することができる。

典型的な一実施形態において、前記パーティクル検出部は、基板の面上を複数分割することにより定義された複数の微小領域（例えば0.1～0.5mm角程度の正方形領域）それぞれにおけるパーティクルの付着状態を表す代表値を、各微小領域のアドレスと対応付けた形式のデータで出力する。また、前記評価データは、基板の面上を複数分割することにより定義された複数の評価領域それぞれにおけるパーティクルの付着状態を表す評価値を、各評価領域のアドレスと対応付けた形式のデータである。各評価領域における評価値は、その評価領域に含まれる複数の微小領域の代表値を所定の関数に当てはめることにより得られた出力である。前記評価領域を定義する際の基板面の分割数は、100以下が好ましく、50以下がより好ましい。評価データのデータサイズは小さいため、評価データの他のコンピュータへの転送、あるいは評価データに基づくパーティクルの付着要因の推定処理などを容易に行うことができる。

評価値は、パーティクルのサイズおよび個数のいずれか一方、または両方に基づいて決定することができる。評価値は、2値データとすることができる。この場合、2値データは、パーティクル検出部で検出されたパーティクルの個数が予め設定した数よりも大きいかな否かに応じた値とすることができる。また前記評価データ作成部は、基板の面の特定の領域のみについての評価データを作成するようなものであってもよい。

この発明によれば、前記対応データを用いることにより、パーティクルの付着要因を自動で診断することができる。この診断結果は、表示部に表示することができる。また、診断結果に基づいて半導体製造装置に対して制御信号を出力する

こともできる。

図面の簡単な説明

図 1 は、本発明の一実施形態に係る半導体製造システムの全体構成を示すブロック図である。

図 2 は、図 1 に示すパーティクル検査装置の構成を示すブロック図である。

図 3 は、ウエハに設定された評価領域をアドレスとともに示す図である。

図 4 は、対応テーブルの構成を概略的に示す図である。

図 5 は、ピクセルデータおよびピクセルデータに基づいて作成された評価データを、これらデータに基づいて作成された二次元マップとして示す図である。

図 6 は、一変形実施形態におけるパーティクル評価対象領域の一例を示す図である。

図 7 は、図 1 に示す半導体製造システムの応用例を示すブロック図である。

図 8 は、半導体製造システムに含まれる半導体製造装置の一例としての熱処理装置の構成を示す縦断側面図である。

図 9 は、図 8 に示す熱処理装置の平面図である。

図 10 は、図 8 に示す熱処理装置の一部を示す斜視図である。

図 11 は、図 8～図 11 に示す熱処理装置に不具合が生じた場合に得られたピクセルデータおよび評価データの例を、これらデータに基づいて作成された二次元マップとして示す図である。

図 12 は、図 8～図 11 に示す熱処理装置に不具合が生じた場合に得られたピクセルデータおよび評価データの他の例を、これらデータに基づいて作成された二次元マップとして示す図である。

図 13 は、半導体製造システムに含まれる半導体製造装置の一例としてのエッチング装置の構成を示す概略平面図である。

図 14 は、図 13 に示すエッチング装置に含まれるエッチングユニットの構成を示す断面図である。

図 15 は、図 14 に示すエッチング装置に不具合が生じた場合に得られたピクセルデータを、このピクセルデータに基づいて作成された概略的二次元マップと

して示す図である。

図 1 6 は、半導体製造システムに含まれる半導体製造の一例としてのレジストパターン形成装置の構成を示す概略平面図である。

図 1 7 は、図 1 6 に示すレジストパターン形成装置に含まれる塗布ユニットの構成を示す断面図である。

図 1 8 は、図 1 6 に示すレジストパターン形成装置に含まれる加熱ユニットの構成を示す断面図である。

図 1 9 は、図 1 7 に示す塗布ユニットおよび図 1 8 に示す加熱ユニットに不具合が生じた場合に得られたピクセルデータを、このピクセルデータに基づいて作成された概略的二次元マップとして示す図である。

図 2 0 は、パーティクル検査装置で得られたパーティクル度数分布グラフおよびパーティクルマップを示す図である。

好適な実施形態の説明

図 1 は、本発明の実施の形態に係る半導体製造システムの構成を示す図である。この半導体製造システムは半導体製造装置 1 を備えている。この半導体製造装置 1 は、半導体ウエハ及び液晶ディスプレイ用ガラス基板などの基板に半導体集積回路を形成するための処理を行う基板処理装置である。半導体製造装置 1 には、熱処理装置、エッチング装置、成膜装置、スパッタ装置、イオン注入装置、アッシング装置、レジスト液の塗布および露光後の基板の現像を行う塗布現像装置、および洗浄装置などが含まれる。また、本明細書における半導体製造装置 1 は、上述したような基板に直接的に処理を施すものに限定されず、半導体製造工程に用いられる他の装置、例えば、基板上の半導体集積回路を検査する検査装置、あるいは露光時のマスクとして使用するマスク基板（レチクル基板）にレジストパターンを形成する装置なども含まれる。

半導体製造装置 1 においては、処理前のウエハ W を多数枚収納したキャリア C が搬入され、このキャリア C から取り出されたウエハ W に所定の処理が施される。処理後のウエハ W は、元のキャリア C に戻されて、半導体製造装置 1 から搬出される。半導体製造装置 1 内には、半導体製造装置 1 により所定の処理が行われた

ウエハWに付着しているパーティクルを検査するパーティクル検査装置2が設けられている。

誤解を避けるために、以下の記述を読む前に、本明細書冒頭の「背景技術」に記載された「ピクセル」および「ピクセルデータ」の意味を再度確認されたい。

図2に示すように、パーティクル検査装置2は、図示しないターンテーブルに載置されたウエハWに対向してウエハWの径方向に移動自在に設けられたレーザ光を照射する光照射部21と、レーザ光の散乱光を受光して散乱光強度に応じた信号を発生する受光部22と、この受光部22からの信号を処理する信号処理部23とを備えている。信号処理部23はバス23aに接続されており、このバス23aには、ピクセルデータ作成プログラム24a及び評価データ作成プログラム24bなどのプログラムを格納したプログラム記憶部24と、ピクセルデータを記憶するピクセルデータ記憶部25と、評価データを記憶する評価データ記憶部26と、CPU（中央処理ユニット）27とが接続されている。

「背景技術」の項目にて述べたように、光照射部21によりウエハW上に照射されるレーザ光のスポットサイズ（ビーム径）は典型的には直径 $6.0\mu\text{m}$ であり、また、ピクセル（すなわち微小領域）は、ウエハの面を微少な、例えば $0.1\text{mm}\sim 0.5\text{mm}$ 角の多数の正方形領域（より詳しくは扇形状領域）に分割することにより定義される。各ピクセル内は、レーザ光の照射位置を所定量、例えばレーザ光のスポットサイズの半分半分ずつずらしながら断続的に照射されるレーザ光（すなわちパルスレーザ光）により隈無くスキャンされる。

レーザ光の照射位置の変更は、光照射部21のウエハWの径方向の移動とウエハWの回転とを組み合わせることにより行われる。1つのピクセルの全域をスキャンした後に次のピクセルをスキャンすることを繰り返すことにより、ウエハの全面をスキャンすることができる。これに代えて、まずウエハWの中心にレーザ光を照射し、（a）その後光照射部21をウエハWの半径方向外側に微少量移動し、（b）光照射部21の半径方向位置を固定したままウエハWを断続的に回転させながらパルスレーザ光を照射し、ウエハWが1回転する毎にステップ（a）（b）を繰り返し実行してもよい。この場合、一照射の度に得られたデータは、後の演算処理により各ピクセルに割り付けられる。

ウェハWに対する光照射部21の位置が変更される毎に、光照射部21がパルスレーザ光を発生し、受光部22がウェハ表面及び／又はパーティクルで散乱されたレーザ光を受光する。受光部22は、受光した散乱光の強度（ラマン散乱光の強度）に相当する電圧信号（すなわち検出信号）を信号処理部23に送信する。

信号処理部23は、前記電圧信号を図示しないアナログーデジタルコンバータにより量子化する。量子化ビット数は、パーティクルサイズを評価する場合には2以上例えば例えば8ビット（256段階の量子化レベル）、パーティクルサイズを評価せずにパーティクルの有無のみを評価する場合には1ビット（2段階の量子化レベル、2値データ）とされる。

1つのピクセルは複数回パルスレーザにより照射されるため、各ピクセル毎に複数の散乱光強度データが得られる。CPU27は、各ピクセルにおける最大の散乱光強度データをそのピクセルの代表値として選択し、各代表値を対応するピクセルのアドレスと関連付けたデータ、すなわちピクセルデータとしてピクセルデータ記憶部25に格納する。

パーティクルサイズを評価する場合には、各ピクセルの代表値は、そのピクセル内に存在する最大サイズのパーティクルに対応したものとなる。この場合、各ピクセルの代表値は、そのピクセル内におけるパーティクルの有無およびパーティクルの最大サイズを表していることになる。パーティクルサイズを評価しない場合には、各ピクセルの代表値は、そのピクセル内におけるパーティクルの有無のみを表す2値データとなる。

なお、ターンテーブルの回転角および光照射部21の径方向位置は、公知の手段で容易に検出することができる。また、ウェハWにはオリエンテーションフラットやノッチといった結晶方向を表す位置合わせ部位が設けられている。従って、各ピクセルのアドレスは、この位置合わせ部位を基準にして、極座標（ r, θ ）および／またはX-Y直交座標を用いて特定することができる。なお図2には、ピクセルデータ記憶部25に格納されるピクセルデータに基づき作成された2次元マップが表示されており、このマップによりウェハW上のパーティクルの分布を視覚的に把握することができる。

なお、この実施形態では、光照射部21、受光部22、信号処理部23及びピ

クセルデータ作成プログラム 24 a によりパーティクル検出部が構成される。

ピクセルの面積は極めて小さいので、直径が 300 mm のウェハではピクセル数は約 10 万個にもなり、ピクセルデータのサイズは膨大なものとなる。このようなデータをそのまま用いて後述するようなパーティクル付着要因の解析処理を行うと、演算処理装置に多大な負荷がかかる。このため演算処理装置は高い処理能力を有する演算素子および大容量のメモリを有していなければならない。本実施形態では、この問題を解決するために、ウェハ W の面をピクセルのサイズよりも遙かに大きいサイズの領域（以下、「評価領域」と呼ぶ）に分割し、各評価領域のパーティクル付着状況を示す代表値（以下、「評価値」と呼ぶ）に基づいてパーティクルの発生原因解析を行うようにしている。なお、本明細書において以下、各評価値を評価領域のアドレスと対応付けた形式のデータを「評価データ」と呼ぶこととする。

上記の機能を実現するため、パーティクル検査装置 2 において、プログラム記憶部 24 には、評価データ作成プログラム 24 b が格納されている。CPU 27 は、プログラム 24 b を用いて、ピクセルデータを評価データに変換する。評価データは評価データ記憶部 26 に記憶される。

ウェハ W の面（典型的にはデバイスが形成される表面）を複数の評価領域に分割した例が図 3 に示されている。図 3 に示す例では、ウェハ W の面を同心の複数のリング状領域に分割し、更に各リング状領域を周方向に複数のセクタ領域に分割することにより、複数の評価領域が定義されている。各評価領域内に記載されたアルファベットおよび数字（例えば A, B1, B2, F16 など）は各評価領域のアドレスを示している。このアドレスは、オリエンテーションフラットやノッチなどの位置合わせ部位を基準として、各評価領域に割り当てられる。なお、ウェハ W の面の分割数および分割の仕方は、図 3 に示すものに限定されるものではなく、半導体製造装置 1 の種類などに応じて適宜変更することができる。

なお、後の説明からも理解できるように、本発明による方法は、膨大な数のピクセルデータそのものに基づいてパーティクルの付着原因解析を行った場合の処理の負荷を低減するものである。従って、評価領域の設定にあたって分割数を多くしすぎると、データ処理の容易性が低下する。その一方で、分割数が少なすぎ

るとパーティクルの付着原因解析が困難になる。このようなことを考慮すると、ウエハWの面の分割数は100以下が好ましく、付着原因解析アルゴリズムの複雑化を避けるためには50以下であることがより好ましい。

ピクセルデータから評価データへの具体的変換方法について以下に述べる。各評価領域には複数のピクセルが含まれる。各ピクセルの代表値がパーティクルの有無のみを表す2値データ（パーティクルサイズは考慮されない）とすると、あるピクセル内にパーティクルが存在する場合には、そのピクセルの代表値は「1」となり、パーティクルが存在しない場合には、そのピクセルの代表値は「0」である。各評価領域において、代表値が「1」であるピクセルの数が基準数（閾値）を超えた場合にはその評価領域の評価値を「1」とし、基準数以下である場合にはその評価領域の評価値を「0」とする。すなわち、各評価領域の代表値である評価値は、2値データとして表現される。このように得られた各評価領域における評価値は、評価領域のアドレスと対応付けされた評価データとして評価データ記憶部26に記憶される。なお、ピクセルのアドレスおよび評価領域のアドレスは、オリエンテーションフラットまたはノッチを基準として決定されているので、ある評価領域に属するピクセルは容易に特定できる。

なお、実際には、半導体処理装置1において処理されるウエハWには、処理前から許容範囲内のパーティクルが付着しているのが通常である。従って、処理後のパーティクルのデータのみに基づいて当該処理に起因して付着したパーティクルを特定することは困難である。このため、評価データは、処理前および処理後のパーティクルのデータに基づいて作成することが好ましい。

この場合、処理前後の各ピクセルの代表値として、2値データの変わりに、複数ビットのデータ（例えば前述したように散乱光強度の量子化レベルが256段階のデータ）を用いることができる。各ピクセルの処理前後における代表値の差が求められ、この差に応じて、評価データの作成の基礎となるそのピクセルの代表値（評価データ作成用代表値）が決定される。評価データ作成用代表値としては2値データを用いることができる。あるピクセルにおいて処理後の代表値が処理前の代表値より大きい場合には、処理によりそのピクセルに新たなパーティクルが付着したものと見なし、評価データ作成用代表値に「1」が割り当てられ、

それ以外の場合には新たなパーティクルの付着がないものと見なし、評価データ作成用代表値に「0」が割り当てられる。

このようなデータ処理はピクセルデータ作成プログラムによって行われ、決定された各ピクセルの評価データ作成用代表値は、各ピクセルのアドレスと対応付けられたピクセルデータの形式でピクセルデータ記憶部25に記憶される。そして、このピクセルデータは、先に述べた手順と同様の手順で、評価データに変換される。

なお、ウエハW処理前のパーティクルの検出結果は、ウエハWを半導体製造装置1に搬入した後に、当該半導体製造装置1に内蔵されたパーティクル検査装置2による検査により得られたものであってもよいが、半導体製造装置1にウエハWが搬入される前に行われた検査により得られたものであってもよい。

再度図1を参照すると、符号3は、半導体製造装置1の運転を制御する例えば半導体製造装置1毎に設けられた装置コントローラである制御部である。この制御部3は、バス31を介して互いに接続された、CPU（中央処理ユニット）30と、判定プログラム3.2a及び制御信号作成プログラム3.2bを記憶する第1の記憶部32と、評価データを記憶する第2の記憶部33と、評価データとパーティクルの付着要因との対応を示す対応テーブル（図4参照）を記憶する第3の記憶部34と、を備えている。バス31には、図示しない入出力ポートを介してパーティクル検査装置2が接続され、更にアラーム発生部35及び表示部36が接続されている。

図4に、対応テーブルを模式的に示す。対応テーブルとは、過去の経験および／または実験により得られた、パーティクルが付着する要因と評価データとの関係を記載したものである。検査に基づいて作成された評価データを対応テーブルに当てはめることにより、パーティクル付着要因を特定することが可能である。

なお、評価データとパーティクル付着要因とは必ずしも一対一に対応するわけではない。例えば、ある要因に起因してパーティクルがウエハWの周縁部に付着する場合、付着したパーティクルの分布パターンは一通りとは限らない。このような場合を想定して、対応テーブルにおいて、1つのパーティクル付着要因に対して複数の評価データを割り当ててもよい。一方、あるパーティクルの分布パタ

ーンが複数のパーティクル付着要因に起因して生じる場合もある。このような場合を想定して、対応テーブルにおいて、1つの評価データに対して複数のパーティクル付着要因を割り当ててもよい。

図5の上段には、後述する縦型熱処理装置においてウエハ保持具の4本の支柱が汚れていた場合に処理されたウエハWで得られたピクセルデータを、二次元マップの形式で表示してある。ウエハWの支柱により支持される部位及びその近傍にパーティクルが付着していることがわかる。図5の下段には、ピクセルデータに基づき作成された評価データを、二次元マップの形式で表示してある。評価データでは、代表値が「1」となっているピクセル数が多い評価領域に評価値「1」が付与され、その他の評価領域の評価値は「0」となっていることがわかる。

CPU 30は、第1の記憶部32に記憶されている判定プログラム32aを用いて、第2の記憶部33に記憶されている測定に基づく評価データを、第3の記憶部34に記憶されている対応テーブルに記録されている複数の評価データと照合し、これら複数の評価データから測定に基づく評価データと一致するものを選択し、この選択された評価データに対応するパーティクル付着要因を、実際のパーティクル付着要因として特定する。CPU 30は、必要に応じてアラーム発生部35にアラームを発生させると共に、表示部36にパーティクルの付着要因（発生要因）を表示させ、更に制御信号作成プログラム32bによりその要因に応じた制御信号を作成して出力する。

制御信号は、パーティクル付着に対する対応を指示する信号である。例えば、パーティクル付着がウエハ保持具の汚れに起因するものと判断された場合（図5参照）、制御信号は、次に行われる予定のウエハ処理を中止してウエハ保持具を反応容器内でクリーニングすることを指令する信号とすることができる。制御信号は、装置の運転を停止する停止信号であってもよい。

なお表示部36は、半導体製造装置1の本体の操作パネルの表示画面に限られず、プリンタなどであってもよい。

なお、図1の例では、CPU 30及び判定プログラム32aが、測定に基づく評価データと対応テーブルとに基づいてパーティクルの付着要因を判断する判断

部に相当する。またパーティクル検査装置 2 及び制御部 3 は、半導体製造装置 1 におけるパーティクル発生の状態を診断する診断装置を構成している。

各評価領域の面積は、互いに等しく設定することができる。この場合、各評価領域の評価値を決定するための基準数（その評価領域に含まれる代表値が「1」であるピクセルの数）は、各評価領域で同じにすることができる。この場合、ある評価領域に前記基準数以上の数のパーティクルが存在したときには、その評価領域には評価値「1」が付与され、そうでない場合には評価値「0」が付与される。なお、各評価領域の面積は異なってもよい。この場合、各評価領域に対して設定される基準数は、各評価領域の面積に比例するように定めることができる。

また、評価値の決定にあたっては、評価領域に含まれるパーティクルが存在するピクセルの数だけでなく、パーティクルのサイズを考慮してもよい。この場合、例えば、ある評価領域内に存在するパーティクルが存在するピクセルの数が所定の基準数未満であっても、所定のサイズ以上のサイズのパーティクルが存在するピクセルの数が所定の数以上であれば、その評価領域の評価値を「1」としてもよい。この場合、各ピクセルの代表値は 2 値データではなく、多段階（例えば 2 5 6 段階）のレベルを持つ代表値が用いられる。

また、評価値を、評価領域に含まれるパーティクルが存在するピクセルの数に関係なく、パーティクルのサイズのみによって決定してもよい。この場合、例えば、1 つの評価領域内にある所定サイズよりも大きいサイズのパーティクルが検出されたピクセルが 1 つでも存在すればその評価領域の評価値を「1」とし、その評価領域にパーティクルが存在するピクセルが多数あったとしても、各パーティクルのサイズが前記所定サイズ以下であればその評価領域の評価値を「0」とすることができる。

なお、評価値は、2 値データに限定されるものではなく、複数のレベルを持つデータとしてもよい。例えば、パーティクルが存在するピクセル数 20 個および 40 個を基準値とし、ある評価領域に存在するパーティクル有りのピクセル数が 0 の場合はその評価領域の評価値を「0」、そのようなピクセル数が 1 以上 20 未満の場合は評価値「1」、そのようなピクセル数が 20 以上 40 未満の場合は

評価値「2」、そのようなピクセル数が40以上の場合は評価値「3」とすることもできる。

また、複数のレベルを持つ評価値を決定するにあたって、パーティクルのサイズ及び個数の両方を考慮してもよい。例えば、ある評価領域に、最大サイズが3 μ m未満のパーティクルが存在するピクセル数が5未満、最大サイズが3 μ m以上8 μ m未満のパーティクルが存在するピクセル数が5未満、最大サイズが8 μ m以上のパーティクルが存在するピクセル数が5未満それぞれ存在するときに、その評価領域の評価値「1」とし、最大サイズが3 μ m未満のパーティクルが存在するピクセル数が5以上で、最大サイズが3 μ m以上8 μ m未満のパーティクルおよび最大サイズが8 μ m以上のパーティクルが存在するピクセル数がそれぞれ5未満の場合には、その評価領域の評価値を「2」とすることができる。

以上述べたように、ピクセルデータから評価データへの変換には、さまざまな関数（変換規則）を用いることができる。用いられる関数は、処理の種類に応じて適宜変更することができる。

また、評価領域をウエハ面の全体に対して設定することに代えて、ウエハ面の一部のある特定の領域に評価領域を設定してもよい。図6はそのような例を示す図であり、ウエハWの中央を横切る帯状のゾーンS内にのみ評価領域が設定されている。このように評価領域を設定した場合でも、パーティクルがウエハの周縁部のみに付着する態様、中央部のみに付着する態様、および周縁の一部に付着する態様（図5を参照）を識別することは可能である。この場合には、評価データのデータサイズが小さいため、演算処理の負荷が小さくて済む利点がある。

なお、パーティクルの検出はウエハの表面（被処理面）に限らずウエハの裏面に対しても行ってもよい。この場合も、ウエハ表面に対して行ったのと同様にし、検出結果のピクセルデータへの変換、ピクセルデータに基づく評価データの作成、並びに、対応テーブルを用いた評価データに基づくパーティクルの付着要因推定を行うことができる。

次に、図1に示す半導体製造システムで実行される一連の工程について説明する。

半導体製造装置1にてウエハWに対して所定の処理が行われる。このとき、キ

キャリアC内に製品ウエハと共に収納されていたモニタウエハに対しても製品ウエハと同様の処理がなされる。モニタウエハはパーティクル検査装置2内に搬入され、その表面若しくは裏面あるいは両面のパーティクルの検出が行われる。このモニタウエハについてのパーティクル検出結果は、ピクセルデータの形式でパーティクル検査装置2のピクセルデータ記憶部25に記憶される。CPU30は、評価データ作成プログラム24bを用いて、ピクセルデータに基づいて評価データを作成し、得られた評価データは評価データ記憶部26に記憶される。

評価データを作成する基になるピクセルデータは、処理されたモニタウエハの検出結果のみに基づいて作成されたものであってもよいし、あるいは処理後のモニタウエハの検出結果に基づいて作成されたピクセルデータと処理前のモニタウエハの検出結果に基づいて作成されたピクセルデータとの比較結果に基づいて作成されたものであってもよい。こうして得られた評価データは、パーティクル検査装置2から制御部3の第2の記憶部33に送られる。

続いて、CPU30は、判定プログラム32aを用いて、作成された評価データと、第3の記憶部34内の対応テーブル中の評価データとの照合を行い、作成された評価データに一致する評価データが対応テーブル中に存在しない場合には、「異常無し」との判断がなされる。この場合、半導体製造装置1の運転はそのまま継続される。

一方、作成された評価データに一致する評価データが対応テーブル中に存在する場合には、評価データに対応するパーティクル付着要因が対応テーブルから読み出される。そして、CPU30は、アラーム発生部35によりアラームを発生させると共に、特定したパーティクル付着要因を表示部36に表示させ、更に、制御信号作成プログラム32bを用いて作成された制御信号例えばクリーニング指令あるいは装置の運転停止指令などを、半導体製造装置1に対して出力する。オペレータはアラームの発生によりパーティクルが異常に発生していることを把握し、そして表示部36を見ることによりパーティクル付着（発生）要因を理解する。

なお、例えば、半導体製造装置1がパーティクル付着要因の解消処理（例えば反応容器内のクリーニング）を制御信号に基づいて自動で行う場合には、オペレ

一夕は特別な作業を行う必要は無い。また、ウエハの表面及び裏面についてパーティクルの検出を行う場合には、第3の記憶部34内の対応テーブルは表面用及び裏面用のものがそれぞれ用意される。また、上述した例では、モニタウエハのみに対してパーティクルの検出を行っているが、これには限定されない。すなわち、モニタウエハに加えて製品ウエハに対してもパーティクルの検出を行い、その検出結果に基づいて異常の有無を判断してもよい。あるいは、あるいは製品ウエハに対してのみパーティクルの検出を行って異常の有無を判断してもよい。

上述した実施の形態によれば、評価データとパーティクル付着要因との関連性を示す対応テーブルを用いてパーティクル付着要因を判定しているため、パーティクル付着要因を迅速かつ正確に特定することができ、またオペレータの負担を低減することができる。パーティクルの付着状態を見てパーティクルの付着要因を判定するには相当な熟練が必要であるが、本実施形態によれば、熟練のオペレータが不在であってもパーティクル付着要因を解消する対策を容易にとることができる。

また、上述した実施の形態によれば、ピクセルデータそのものに基づいてパーティクルの付着要因を判定するのではなく、ピクセルデータに基づいて作成された評価データに基づいてパーティクルの付着要因を判定している。評価データは、多数のピクセルの代表値を所定の関数に適用することによって得られた単一の評価値の集合体であるため、評価データのサイズはピクセルデータのサイズより遙かに小さい。

このため、パーティクル検査装置2から、パーティクル付着要因の判定処理を行う手段（本実施形態では制御部3すなわち装置コントローラ）にデータ（評価データ）を転送するのに必要な時間が短縮される。また、制御部3に大容量のメモリを設ける必要がなくなる。更に、パーティクル付着要因の推定処理を迅速に行うことができる。また、集中管理コンピュータに各半導体製造装置のパーティクル発生履歴をその原因とともに自動送信して、複数の半導体製造装置を一元的に管理することが容易に行える。なお、パーティクル付着要因の推定結果に基づいて生成された制御信号は、プロセスパラメータを変更する旨を指令する信号であってもよい。

なお上述した実施の形態では、パーティクル検査装置 2 は半導体製造装置 1 内に設けられており、半導体製造装置 1 内に設けられたウエハ搬送手段（アーム）によりパーティクル検査装置 2 内にウエハを搬送することができるようになっている。しかしながら、パーティクル検査装置 2 は、半導体製造装置 1 とは別個に設けられるスタンドアローン型の装置とすることもできる。また、上述した利点の一部は失われるが、ピクセルデータから評価データの変換を、ピクセルデータを制御部 3 に送信した後に、制御部 3 内に用意した評価データ作成プログラムにより行うこともできる。

図 7 は本発明の応用例を示す図である。図 7 に示す半導体製造システムは、複数例えば 1 ～ 3 号機の半導体製造装置 1 A ～ 1 C と、これら半導体製造装置 1 A ～ 1 C にそれぞれ設けられたパーティクル検査装置 2 A ～ 2 C と、これらパーティクル検査装置 2 A ～ 2 C にそれぞれ接続された制御部（装置コントローラ） 3 A ～ 3 C と、これら制御部 3 A ～ 3 C に接続され、各半導体製造装置 1 A ～ 1 C を管理する制御部であるグループコントローラ G C と、このグループコントローラ G C に接続された通信部 3 7 と、を備えており、これら構成要素 1 A ～ 1 C、2 A ～ 2 C、3 A ～ 3 C、G C、3 7 は、ユーザ側、典型的には半導体装置製造工場の建屋内に設けられている。

パーティクル検査装置 2 A ～ 2 C は既述のパーティクル検査装置 2 に相当するものであり、制御部 3 A ～ 3 C は既述の制御部 3 に相当するものである。好ましくは、図 1 に示した判定プログラム 3 2 a および制御信号作成プログラム 3 2 b を記憶する第 1 の記憶部 3 2、評価データを記憶する第 2 の記憶部 3 3、対応テーブルを記憶する第 3 の記憶部 3 4 は制御部 3 A ～ 3 C から分離され、グループコントローラ G C に設けられる。この場合、パーティクル検査装置 2 A ～ 2 C からの評価データはそれぞれ制御部 3 A ～ 3 C を介してグループコントローラ G C に送信され、グループコントローラ G C にて作成された制御信号は制御部 3 A ～ 3 C を介して各半導体製造装置 1 A ～ 1 C に送られる。

通信部 3 7 は、通信ネットワーク 4 0 例えば電話回線あるいはインターネット回線を介して、メーカ側の監視ステーション 4 に接続されている。監視ステーション 4 は、通信部 4 1 と、コンピュータからなる制御部 4 2 と、表示部 4 3 とを

有する。ユーザ側に設けられたグループコントローラGCが問題となるレベルのパーティクルの付着を認識するとともにその要因を判定すると、その要因に関する情報が通信部37から通信網40を介してメーカ側の制御部42に送られる。表示部43には、異常が発生した半導体製造装置の番号とその製造装置におけるパーティクル付着要因に関する情報が表示される。なお「メーカ」とは、メーカ自体だけでなく、そのメーカがユーザに対するメンテナンスを委託している会社も含まれる。

このように、パーティクルの発生要因をメーカ側に送信することができるシステムを構築することにより、メーカ側のサービスマンは当該要因に対応可能な機材を予め準備してユーザ側に出向くことができ、迅速な対応をとることが容易となる。

以下に、半導体製造装置におけるパーティクルの付着要因の具体例について説明する。図8～図10は半導体製造装置である縦型熱処理装置を示す図であり、符号51は密閉型キャリアCの搬入領域、符号52はローディングエリア（すなわち移載領域）、符号53は各領域を区画する隔壁である。搬入領域51は大気雰囲気であり、ローディングエリア52は搬入領域51よりも清浄度の高い雰囲気例えば不活性ガス雰囲気とされている。搬入領域51にキャリアCが搬入されると、キャリアCの蓋が開かれ、キャリアC内部のウエハがウエハ移載機構54によりウエハポート（すなわち基板保持具）55に移し替えられる。その後、ウエハポート55は昇降機構56により熱処理炉56a内に搬入され、ウエハの熱処理が行われる。フィルタユニット57及び吸い込みパネル57aを通して循環する不活性ガスが、ローディングエリア52内を横断して流れている。パーティクル検査装置2は、搬入領域51内で隔壁53に気密に接続されており、また、パーティクル検査装置2の内部はローディングエリア52に開放されている。パーティクル検査装置2の内部で、熱処理前および熱処理後にモニタウエハ及び／または製品ウエハのパーティクルの検査が行われる。ウエハポート55は、天板55a及び底板55bの間に4本の支柱55cを有しており、これら支柱55cにはウエハの周縁を保持する溝が形成されている。

ウエハポート55の4本の支柱55cがいずれも汚れていると、ウエハ表面に

おけるパーティクルの検出結果に基づくピクセルデータおよび評価データは、既述のように図5に示すようなものとなる。排気管の入り口付近からパーティクルが処理領域に飛散した場合には、ウエハの周縁にパーティクルが付着し、ピクセルデータ及び評価データはそれぞれ図11(a)、(b)に示すようなものとなる。フィルタユニット57が汚れている場合には、ウエハの片側にパーティクルが付着し、ピクセルデータ及び評価データはそれぞれ図12(a)、(b)に示すようなものとなる。なお、図11及び図12に示すピクセルデータは、パーティクルの付着部分をハッチングを付して表示することにより簡略化して記載してある。

更に他の例について説明する。図13はエッチング装置（エッチャー）を示している。実質的に気密に形成された装置本体の正面パネル61の前面側に密閉型カセットCが接続されると、カセットCの蓋が開かれる。そして、ウエハは、ウエハ移載機構62によりカセットCから取り出され、ウエハ移載アームを備えたロードロック室63を介して、図14に示すエッチングユニット64内の載置台65に載置される。載置台65の周囲にはフォーカスリング67が設けられ、また上部にはエッチングガスを供給するガスシャワーヘッド66が設けられている。パーティクル検査装置2は正面パネル61の前面側に設けられており、パーティクル検査装置2の内部は装置本体内に開放されている。

フォーカスリング67が汚れていると、ウエハの周縁部にパーティクルが付着し、ピクセルデータは図15(a)に示すようなものとなる。ガスシャワーヘッド66が汚れていると、ウエハ表面の概ね全面にパーティクルが付着し、ピクセルデータは図15(b)に示すようなものとなる。載置台65の直径方向に関して載置台65を挟んで設けられた2つの排気管の一方からパーティクルが処理領域内に飛散した場合には、ウエハの片面にパーティクルが付着し、ピクセルデータは図15(c)に示すようなものとなる。

更に他の例について述べる。図16は、レジストを塗布し、露光後のウエハ表面を現像する塗布・現像装置を示す。カセットステーション71に搬入されたオープンカセットCから受け渡しアーム72によりウエハが取り出される。ウエハは、多段に積み重ねた複数のユニットからなるユニット塔U1の一つのユニット

を介して、馬蹄形状のメインアーム 7 3 に渡される。その後、ウエハは、レジスト塗布ユニット 7 4 や、ユニット塔 U 1 あるいは U 2 の中の加熱ユニットなどを経て、インターフェイスブロック 7 5 に搬送され、そこから露光装置 7 6 に搬入される。ウエハは、露光装置 7 6 で露光された後、インターフェイスブロック 7 5 を介して現像ユニット 7 7 に搬入されてそこで現像処理される。

図 1 7 に示すように、レジスト塗布ユニット 7 4 では、スピンチャック 7 4 a がウエハ W を真空吸着して高速回転し、ノズル 7 4 b から供給されるレジスト液がウエハ W 表面に塗布される。また、図 1 8 に示すように、加熱ユニット 8 では、加熱板 8 1 内の 3 本の昇降ピン 8 2 を介して、ウエハ W がメインアーム 7 3 から加熱板 8 1 上に移載される。

メインアーム 7 3 が汚れていると、ウエハの裏面の周縁に馬蹄形状にパーティクルティが付着し、ピクセルデータは図 1 9 (a) に示すようなものとなる。昇降ピン 8 2 が汚れていると、ウエハの裏面の昇降ピン 8 2 のヘッドに対応する領域にパーティクルが付着し、ピクセルデータは図 1 9 (b) に示すようなものとなる。スピンチャック 7 4 a が汚れていると、ウエハの裏面におけるスピンチャック 7 4 a の接触領域にパーティクルが付着し、ピクセルデータは図 1 9 (c) に示すようなものとなる。

請 求 の 範 囲

1. 半導体製造システムにおいて、

半導体製造装置と、

前記半導体製造装置により所定の処理が行われた基板に付着しているパーティクルを検出するパーティクル検出部と、

前記パーティクル検出部により検出された検出結果に基づいてパーティクルの付着状態を評価するための評価データを作成する評価データ作成部と、

前記評価データとパーティクルが基板に付着した要因との間に成立する予め求められた対応関係を示す対応データを記憶する記憶部と、

前記評価データ作成部が作成した評価データと前記記憶部に記憶された対応データとに基づいて、パーティクルが基板に付着した要因を判断する判断部と、
を備えたことを特徴とする半導体製造システム。

2. 請求項1に記載の半導体製造システムにおいて、

前記パーティクル検出部は、前記検出結果として、基板の面を複数分割することにより得られた複数の検出単位領域におけるパーティクルの付着状態をそれぞれ表す代表値を対応する検出単位領域のアドレスと関連づけて示した形式のデータを出力できるように構成され、

前記評価データは、基板の面を複数分割することにより得られた複数の評価領域におけるパーティクルの付着状態を表す評価値を対応する評価領域のアドレスと関連づけて示した形式のデータであり、

前記各評価領域は複数の検出単位領域を含んでおり、前記各評価値は対応する評価領域に含まれる複数の検出単位領域の代表値を所定の関数に当てはめることにより得られた出力である

ことを特徴とする半導体製造システム。

3. 請求項2に記載の半導体製造システムにおいて、

前記各評価値は、対応する評価領域に含まれる検出単位領域内に存在するパー

ティクルのサイズ及び／または個数に対応している
ことを特徴とする半導体製造システム。

4. 請求項 2 に記載の半導体製造システムにおいて、
前記各評価値は、2 値データである
ことを特徴とする半導体製造システム。

5. 請求項 4 に記載の半導体製造システムにおいて、
2 値データとして表現される前記各評価値は、対応する評価領域に含まれる検
出単位領域内に存在するパーティクル数が所定の基準値より大きいか否かにより
決定される、
ことを特徴とする半導体製造システム。

6. 請求項 1 に記載の半導体製造システムにおいて、
前記評価データ作成部は、基板の面の一部のみの領域について評価データを作
成するように構成されている
ことを特徴とする半導体製造システム。

7. 請求項 1 に記載の半導体製造システムにおいて、
前記評価データ作成部は、前記半導体製造装置により所定の処理が行われる前
の検出結果と当該所定の処理が行われた後の検出結果との比較に基づいて評価デ
ータを作成するように構成されている
ことを特徴とする半導体製造システム。

8. 請求項 1 に記載の半導体製造システムにおいて、
前記判断部にて判断された、パーティクルが基板に付着した要因を表示する表
示部をさらに備えた
ことを特徴とする半導体製造システム。

9. 請求項1に記載の半導体製造システムにおいて、
前記判断部にて判断された、パーティクルが基板に付着した要因に基づいて前記半導体製造装置に対して制御信号を出力するための手段をさらに備えたことを特徴とする半導体製造システム。

10. 請求項1に記載の半導体製造システムにおいて、
基板上のパーティクルを検査するパーティクル検査装置と、
前記パーティクル検査装置とは別個に設けられ、前記半導体製造装置を制御する制御部と、を備え、
前記パーティクル検出部及び前記評価データ作成部は前記パーティクル検査装置に設けられ、
前記記憶部及び前記判断部は前記制御部に設けられていることを特徴とする半導体製造システム。

11. 請求項1に記載の半導体製造システムにおいて、
前記判断部にて判断された、パーティクルが基板に付着した要因を通信回線により監視ステーションに送信するための通信部を更に備えたことを特徴とする半導体製造システム。

要 約 書

本発明は、半導体ウエハ等の基板におけるパーティクルの検査結果に基づいて自動で半導体製造装置の診断を行うことができるシステムを提供する。好適な一実施形態において、ウエハの面が0.1～0.5mm程度の微小領域に分割され、各微小領域におけるパーティクルの有無が検査される。検査結果に基づいて、各微小領域におけるパーティクルの有無を各微小領域のアドレスと対応付けたデータが作成される。ウエハの面は、数十～数百程度の大きな評価領域に分割される。各評価領域に含まれる多数の微小領域のうちパーティクルが検出された微小領域の数が所定の基準値を超えているか否かに基づいて、各評価領域にその評価領域のパーティクル付着状態を表す2値データが割り当てられる。予め経験則または実験に基づいて作成された2値データの分布状況とパーティクルの付着要因との関係を示す対応テーブルが準備される。検査に基づいて作成された2値データを対応テーブルに当てはめることにより、パーティクルの付着要因が特定される。

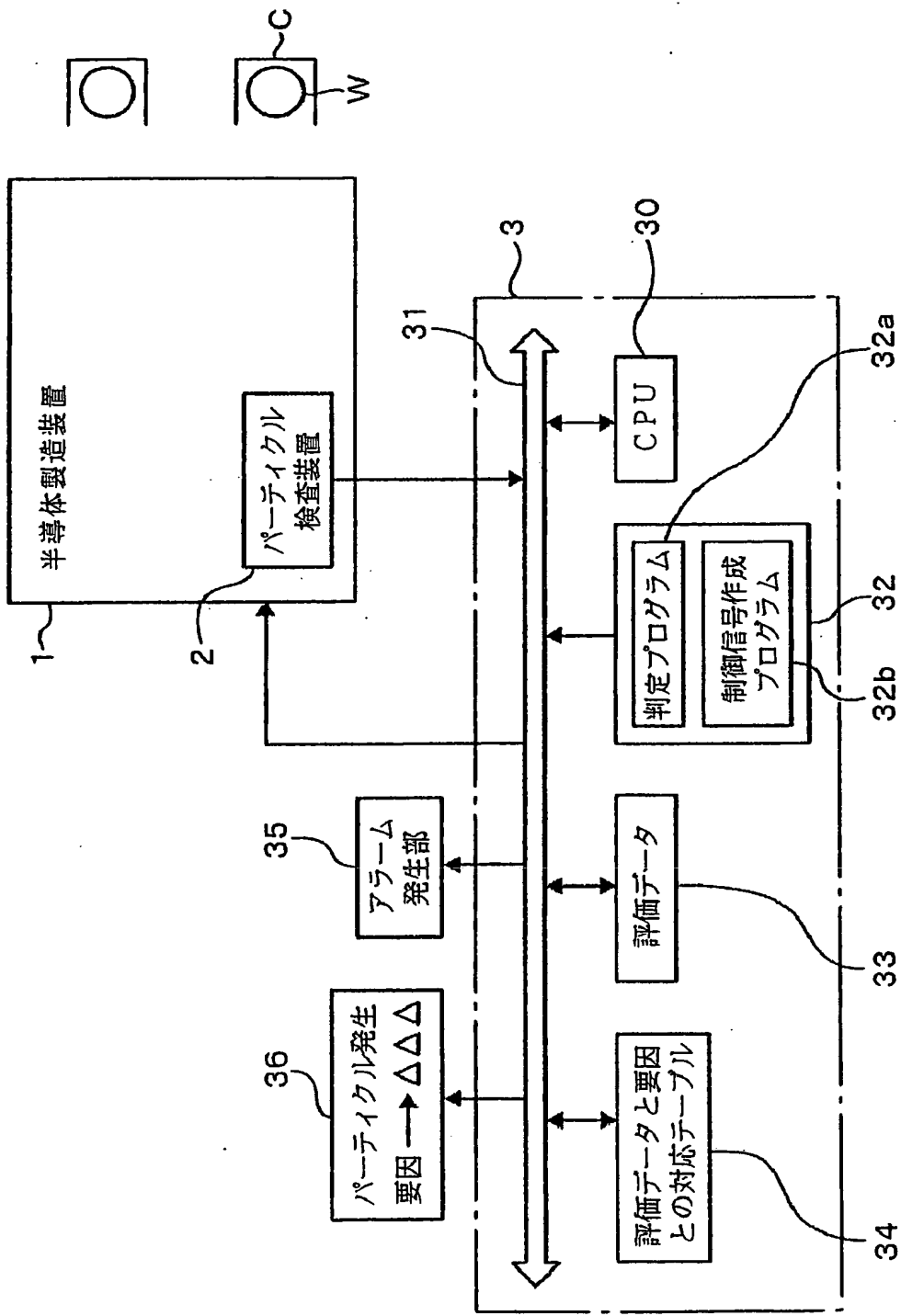


FIG. 1

2/18

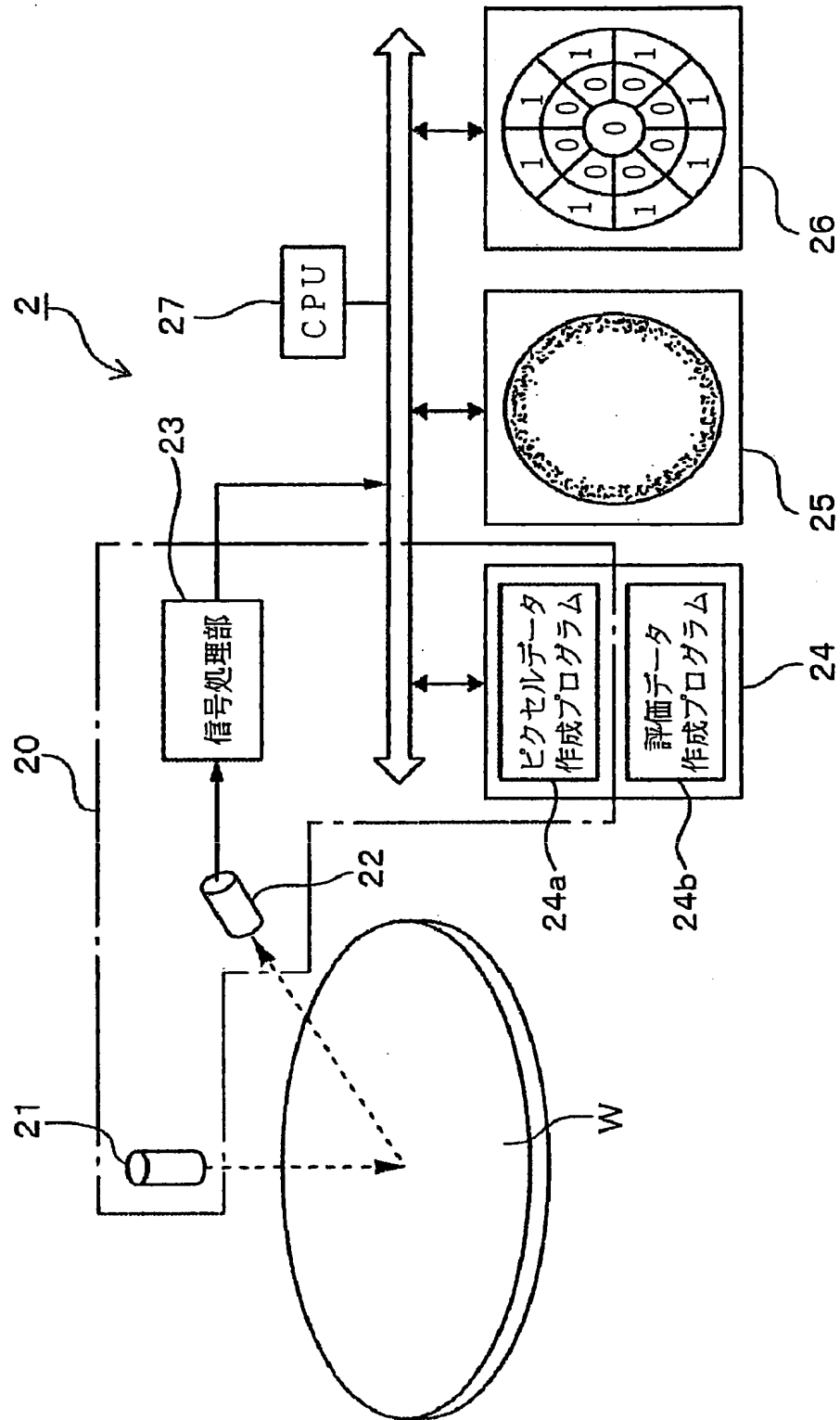


FIG. 2

3/18

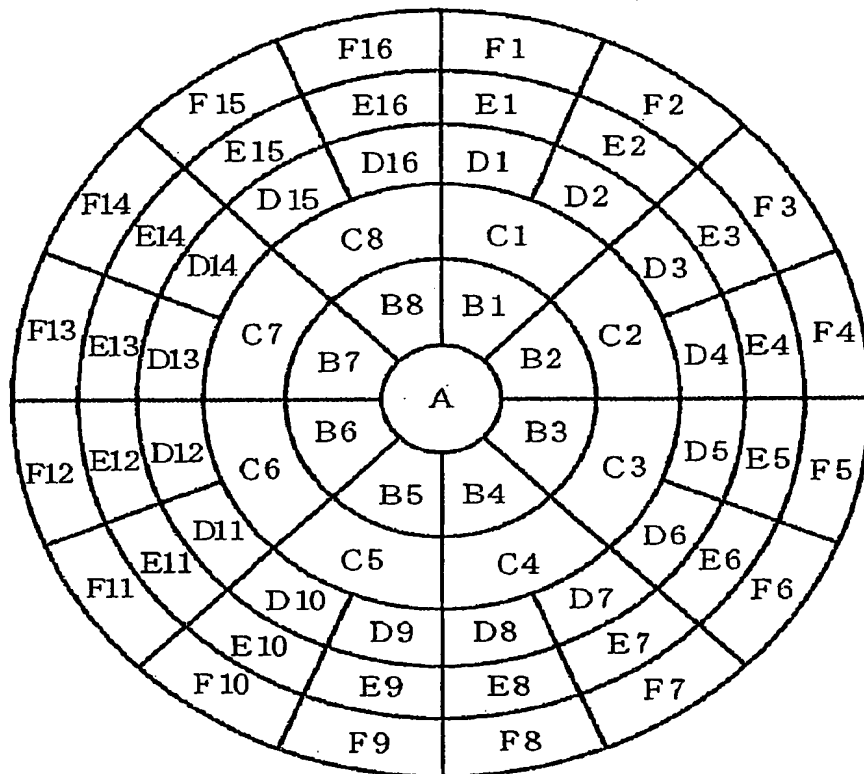


FIG. 3

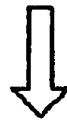
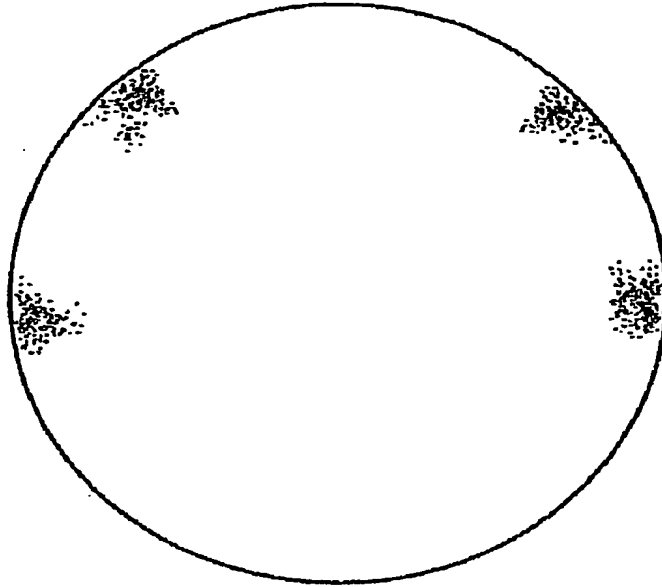
対応テーブル

A	B1	B2	----	C1	C2	----	F16	パーティクル付着要因
1	1	1	----	0	0	----	0	○○○
0	0	0	----	1	0	----	0	△△△
0	0	0	----	1	1	----	0	□□□
0	0	0	----	0	0	----	1	×××
1	1	0	----	1	0	----	0	○×○
1	1	1	----	1	1	----	1	□×□

FIG. 4

4/18

ピクセルデータ



評価データ

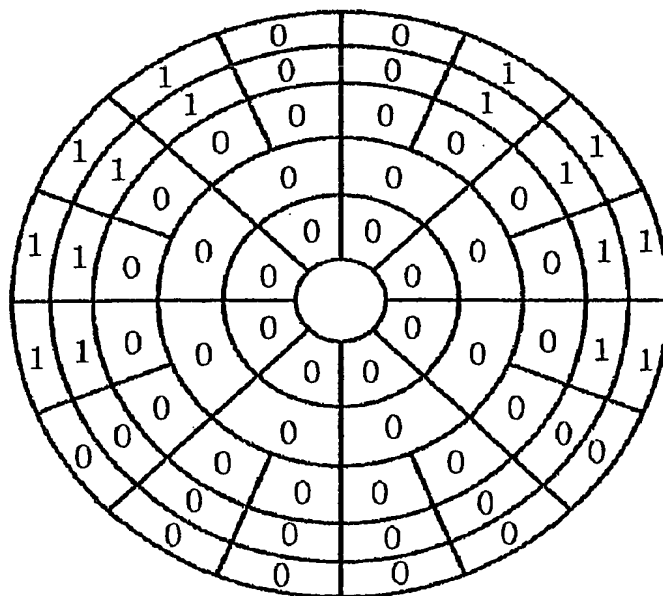


FIG. 5

5/18

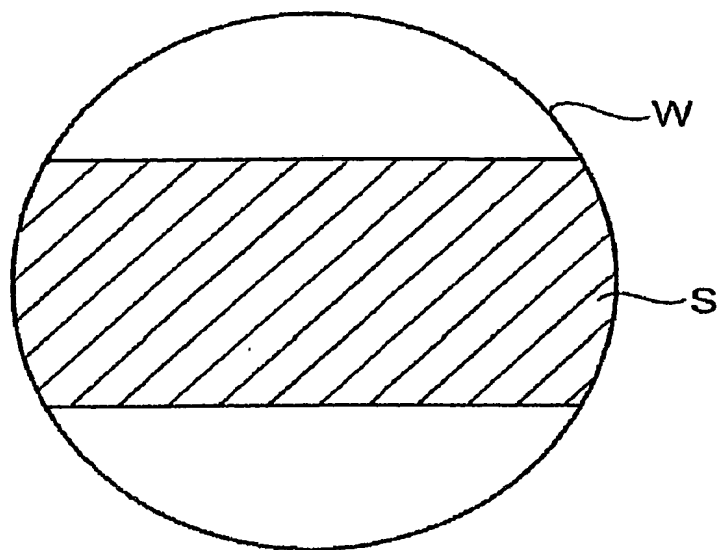


FIG. 6

6/18

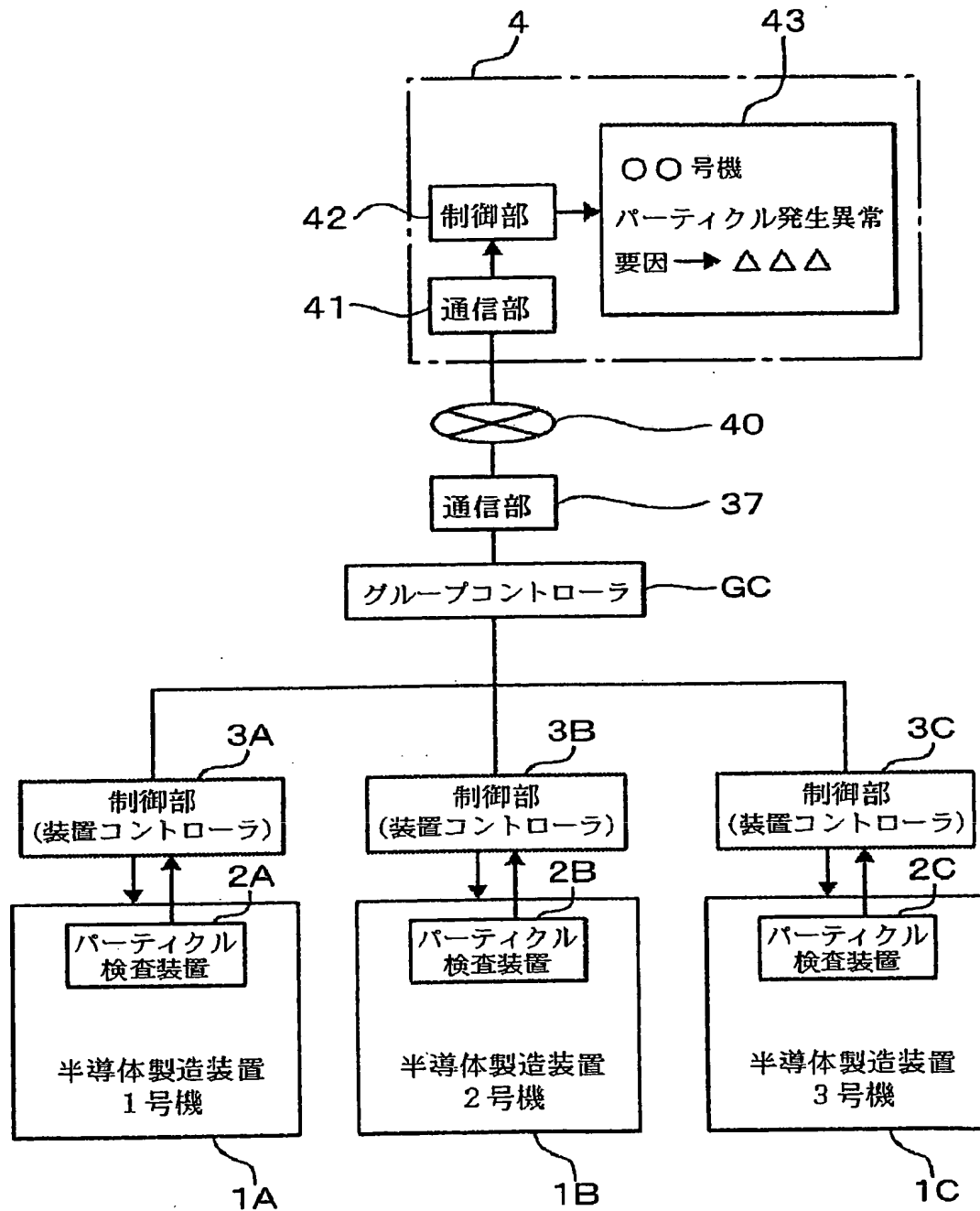


FIG. 7

7/18

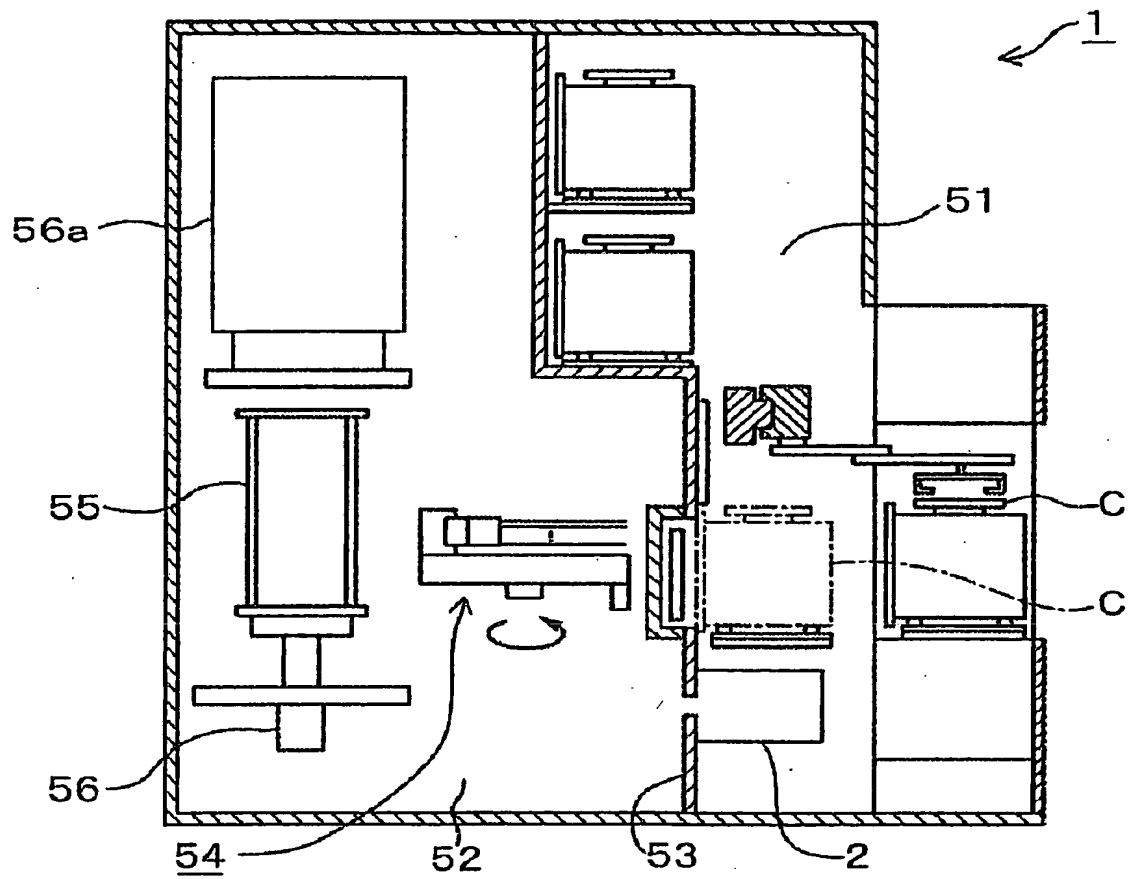


FIG. 8

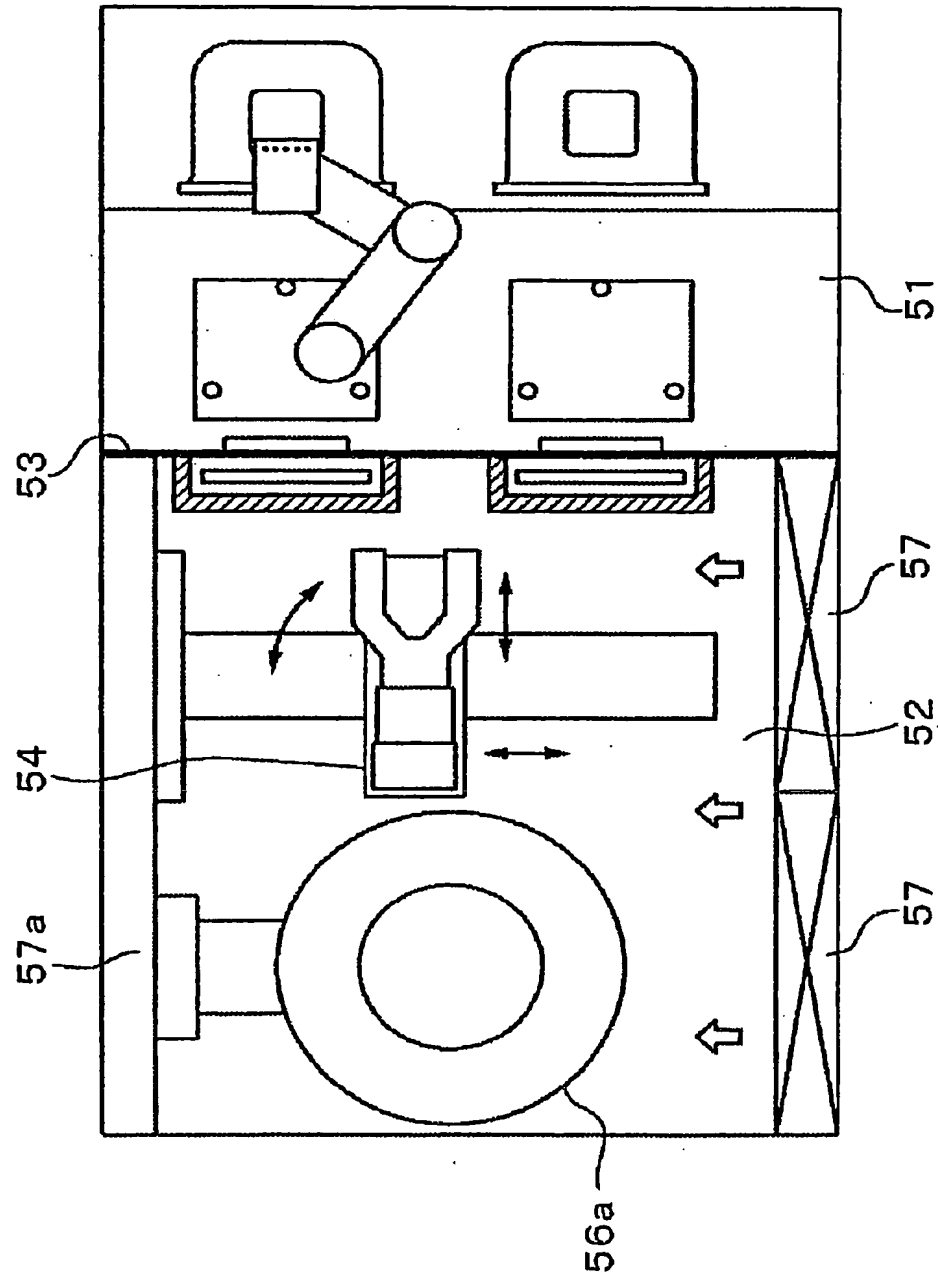


FIG. 9

9/18

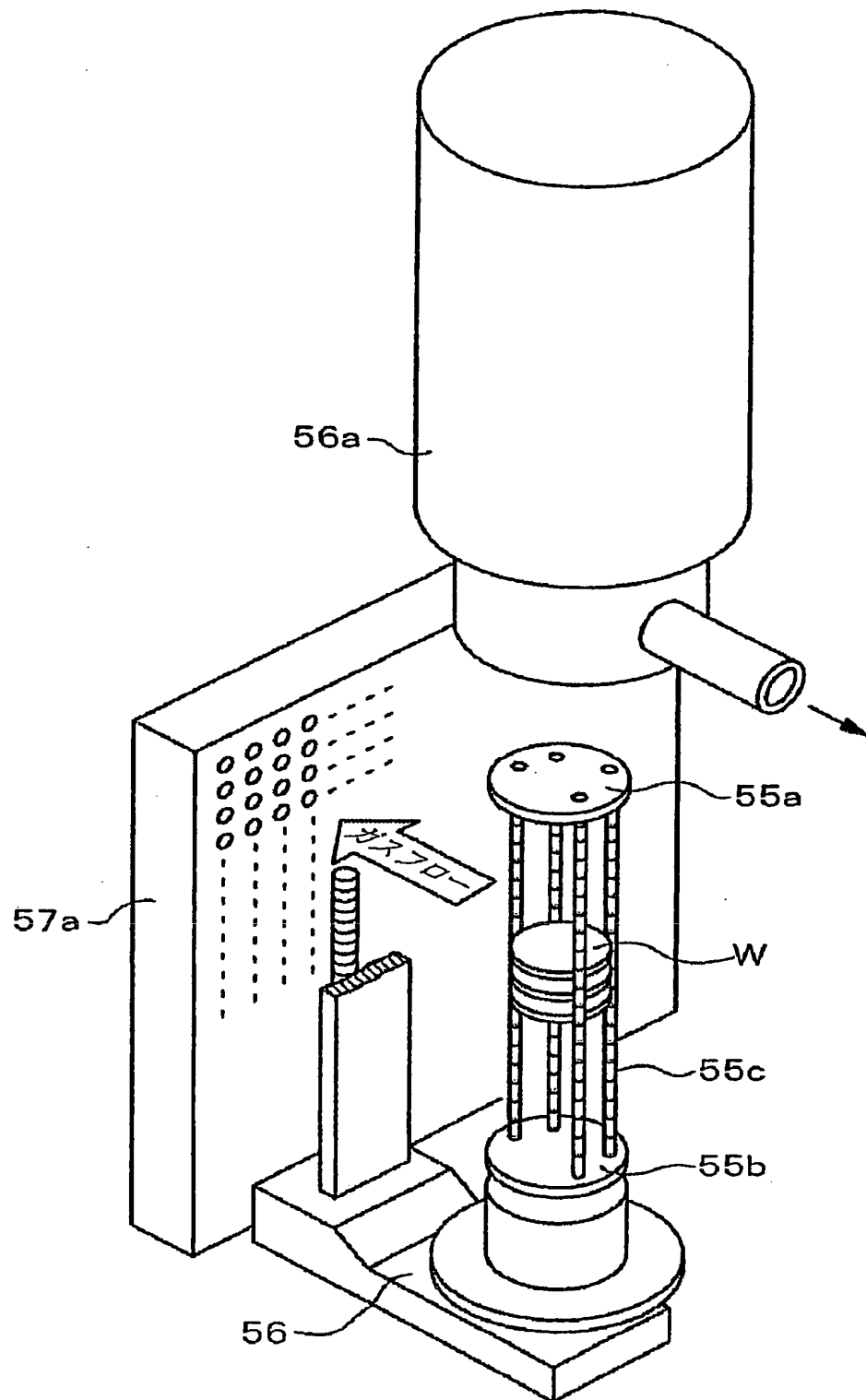
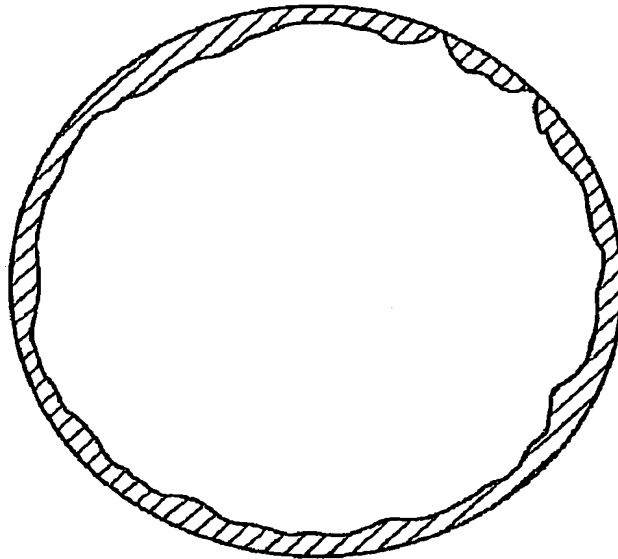


FIG. 10

10/18

(a)



(b)

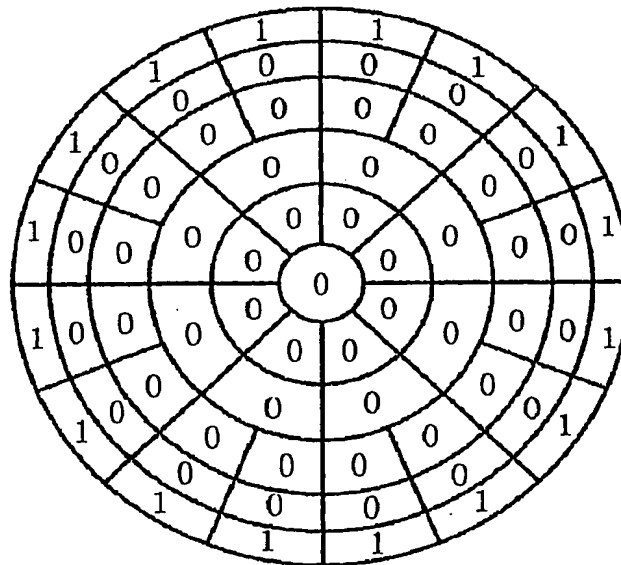
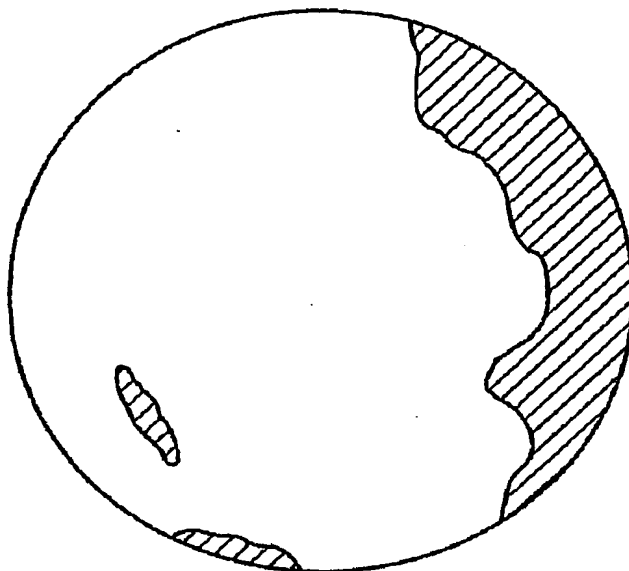


FIG. 11

11/18

(a)



(b)

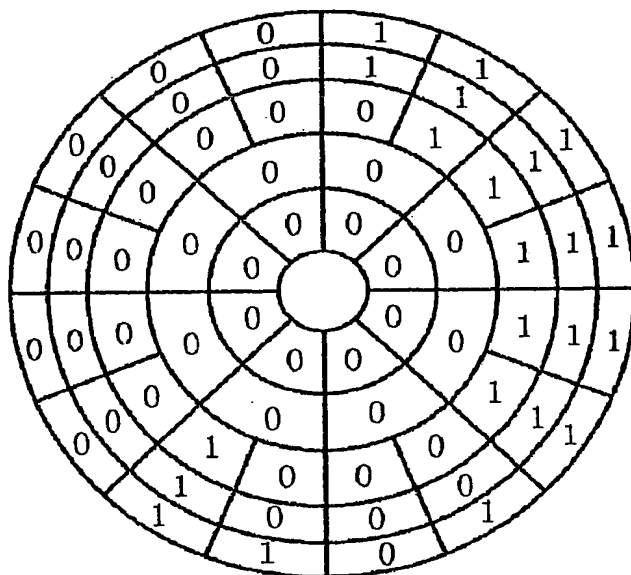


FIG. 12

12/18

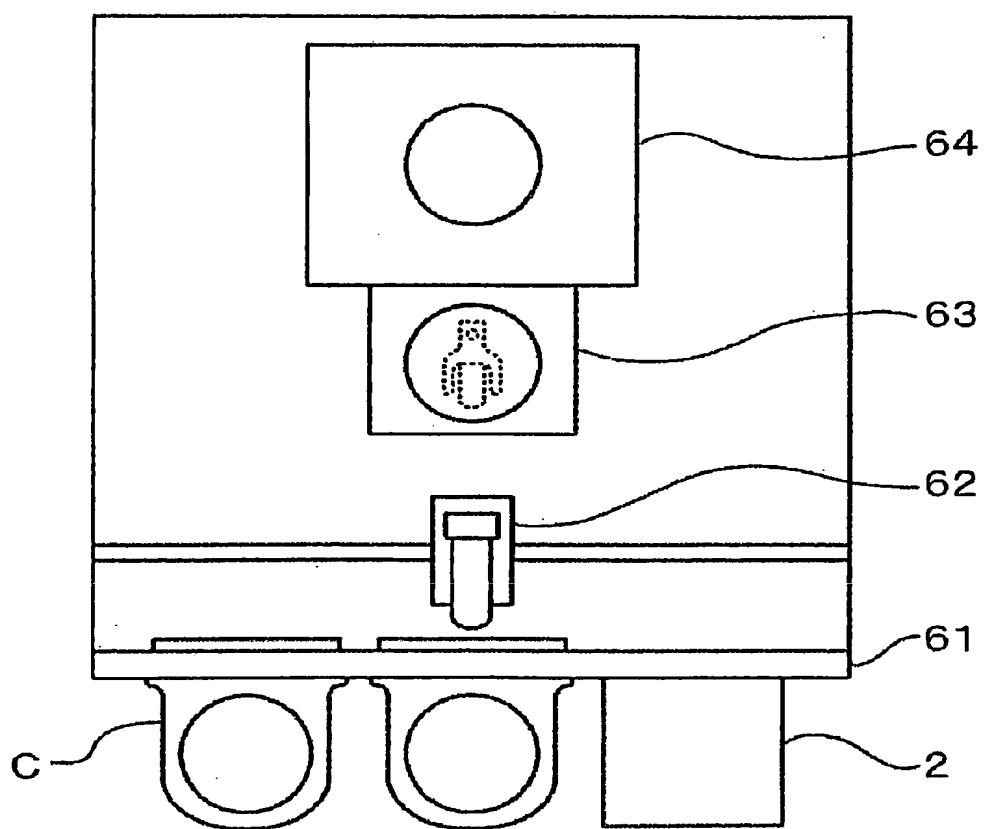


FIG. 13

13/18

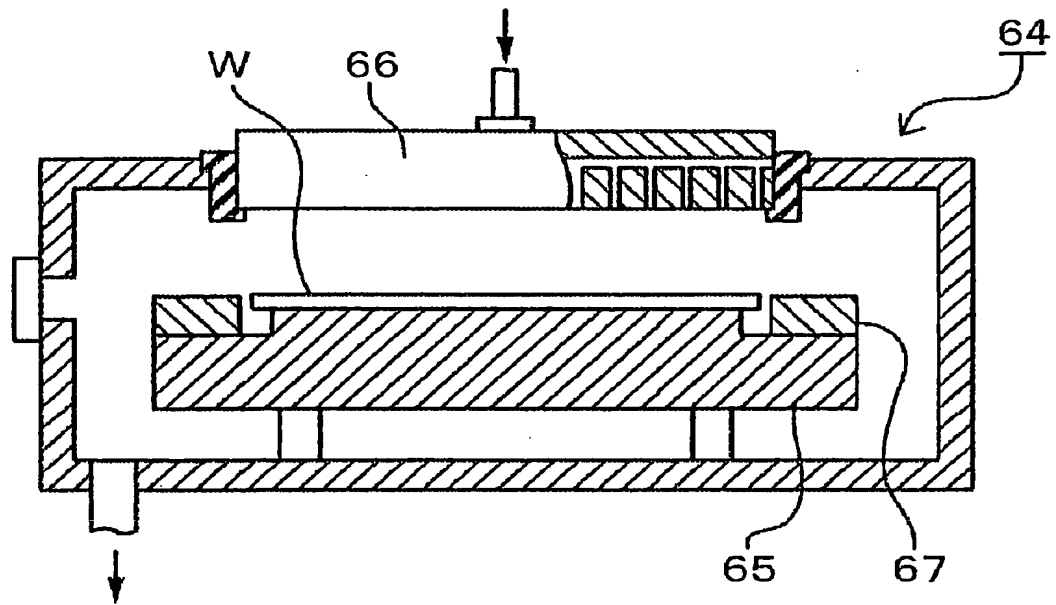


FIG. 14

14/18

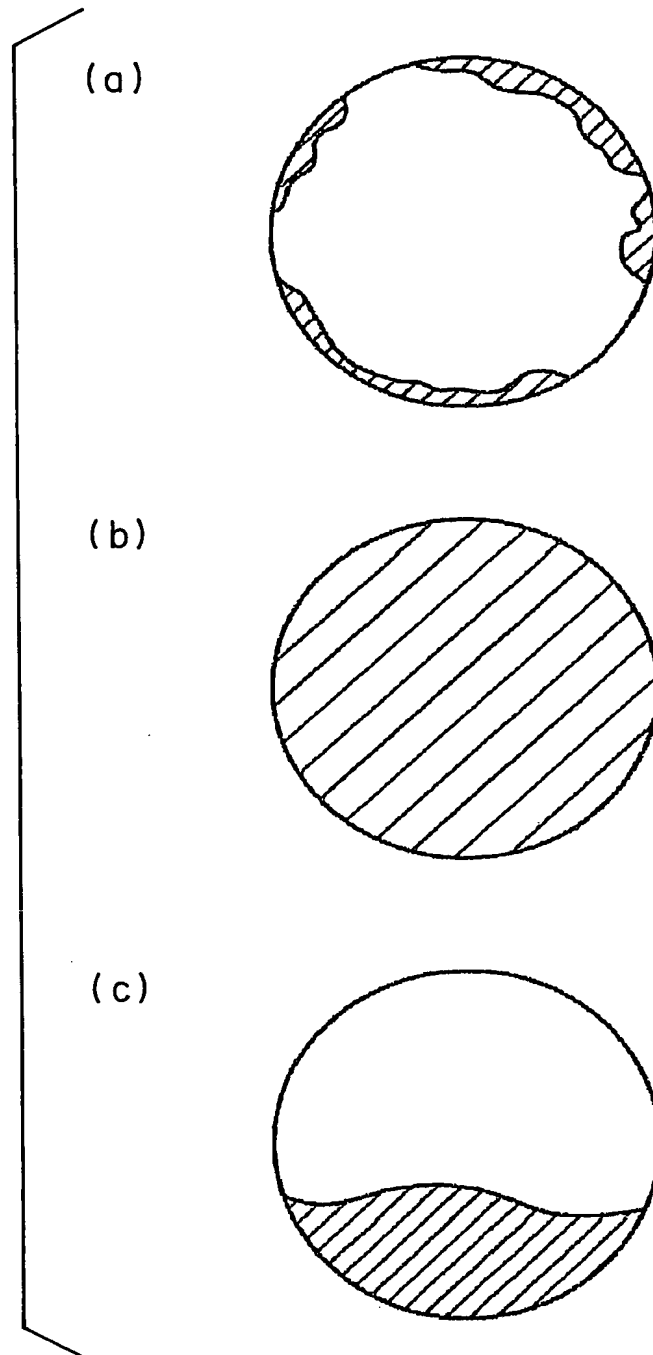


FIG. 15

15/18

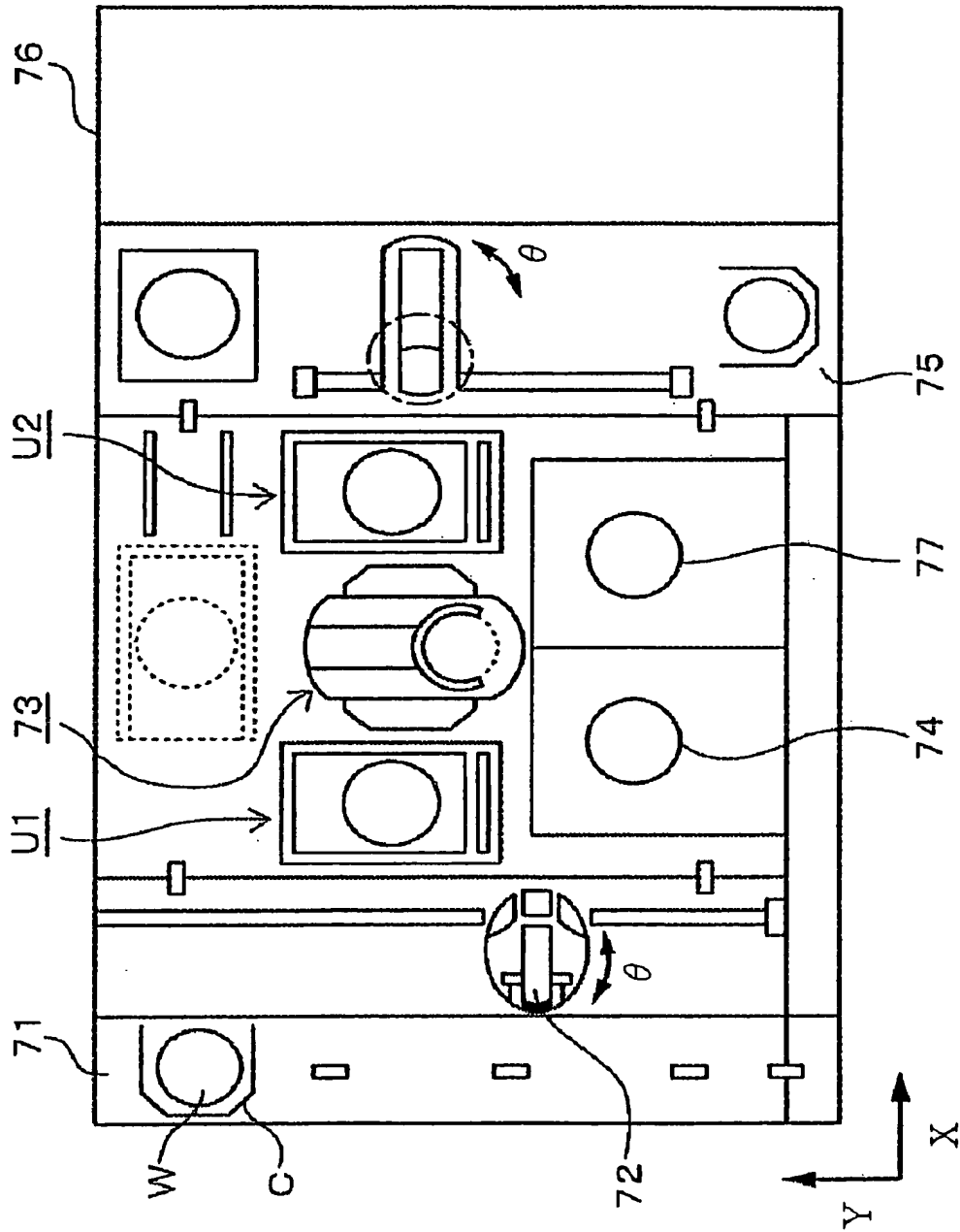


FIG. 16

16/18

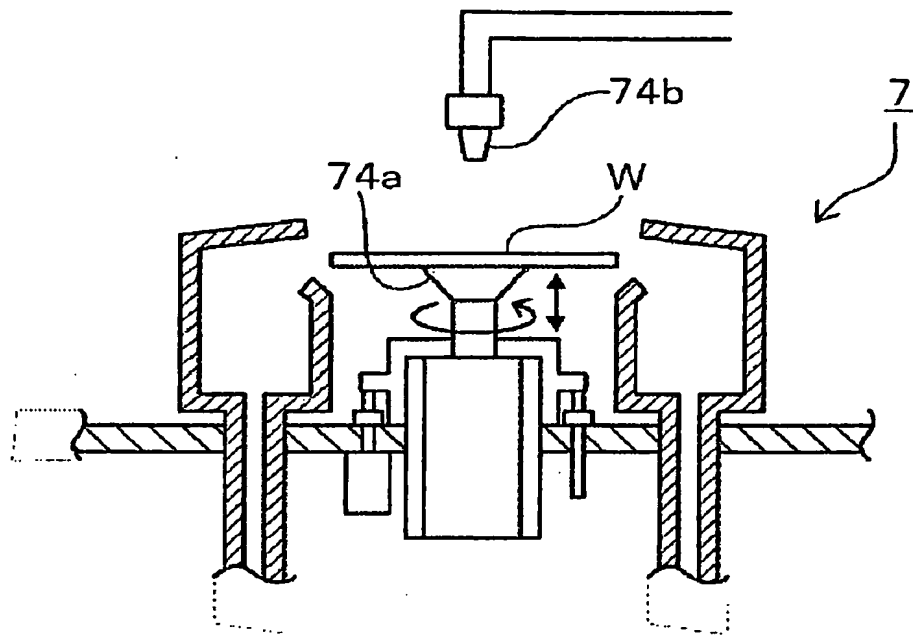


FIG. 17

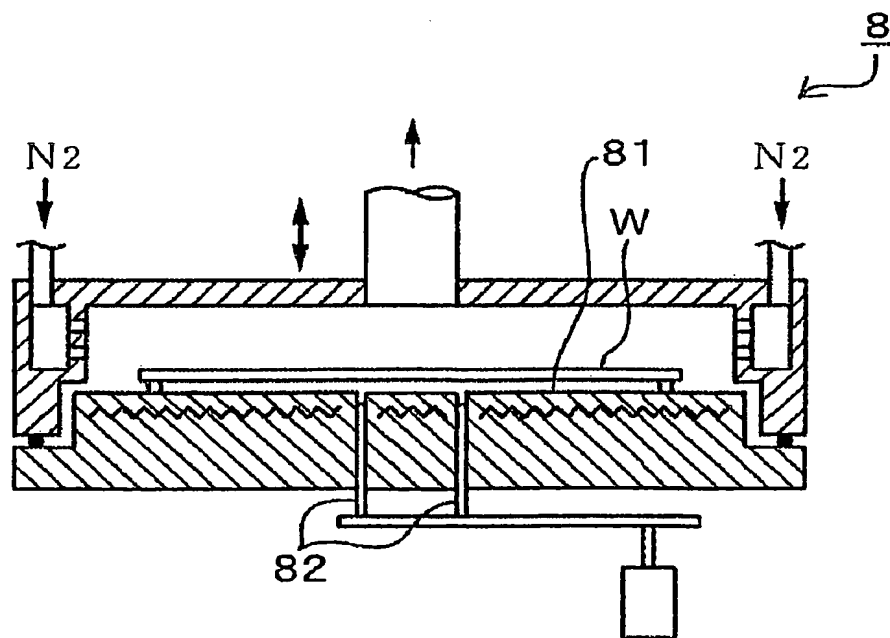


FIG. 18

17/18

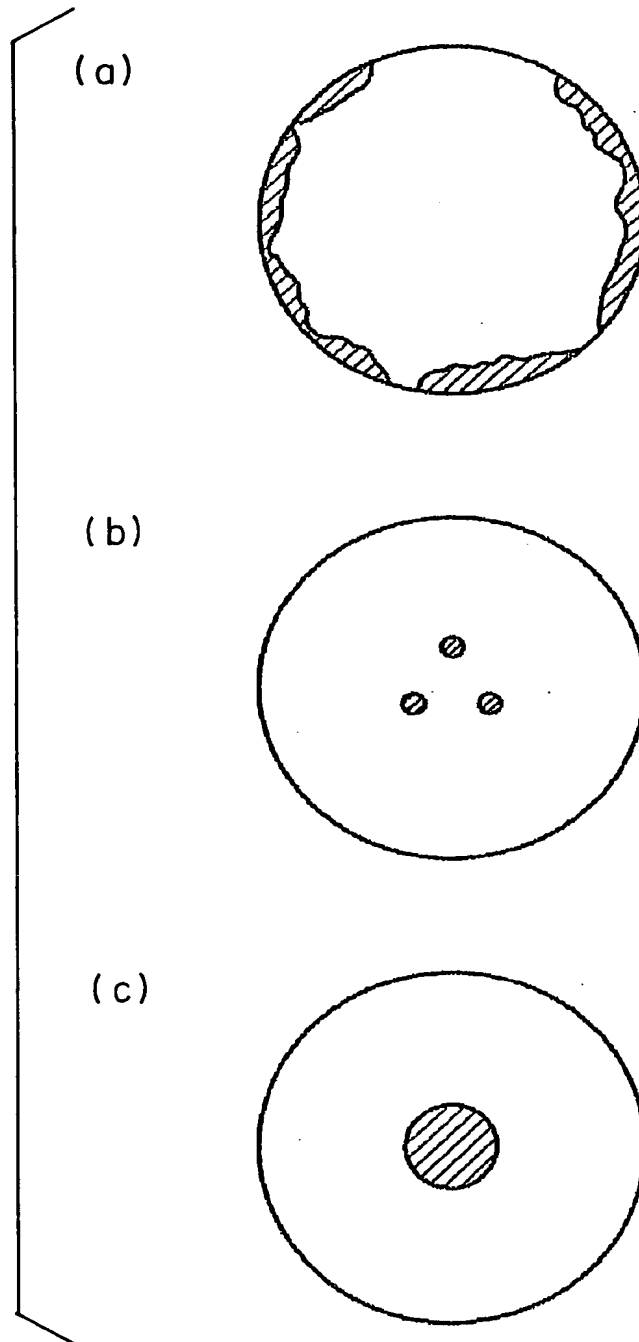


FIG. 19

18/18

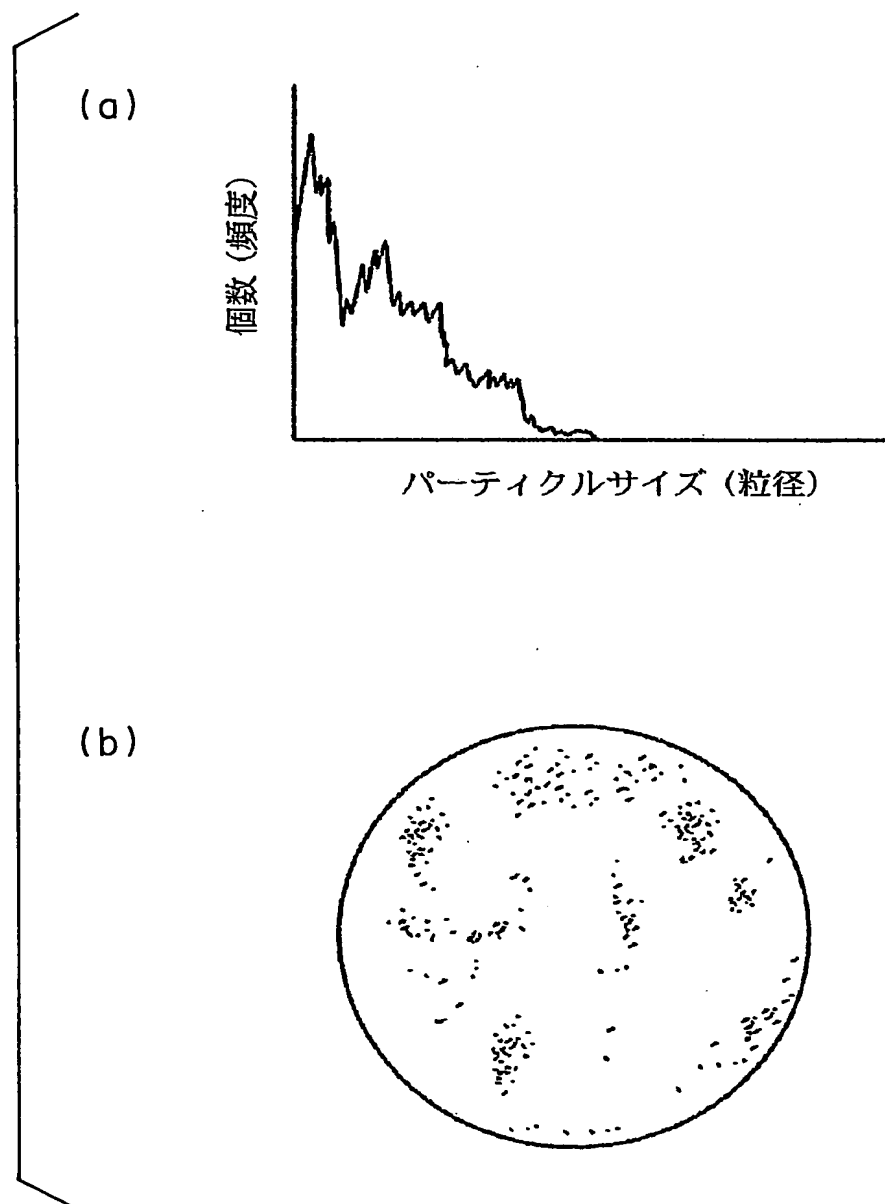


FIG. 20